



TITLE:

# 金属合金における固液共存体の変形による偏析形成とモデル化( Abstract\_要旨)

AUTHOR(S):

森田, 周吾

---

CITATION:

森田, 周吾. 金属合金における固液共存体の変形による偏析形成とモデル化. 京都大学, 2015, 博士(工学)

ISSUE DATE:

2015-03-23

URL:

<https://doi.org/10.14989/doctor.k18984>

RIGHT:

学位規則第9条第2項により要約公開; T. Nagira, H. Yokota, S. Morita, H. Yasuda, M. Yoshiya, C. M. Gourlay, A. Sugiyama, K. Uesugi, and K. Umetani, "Characterization of Shear Deformation Based on In-situ Observation of Deformation in Semi-solid Al-Cu Alloys and Water-particle Mixture", ISIJ Int., 53(2013) 1195-1201.

京都大学	博士（工学）	氏名	森田 周吾
論文題目	金属合金における固液共存体の変形による偏析形成とモデル化		
<p>（論文内容の要旨）</p> <p>本論文は、金属合金の鑄造プロセスにおいて偏析の形成原因の一つとして指摘されている固液共存体の変形について、その場観察による変形機構の解明、その結果に基づいたモデルの構築とその検証を行っており、7章からなっている。</p> <p>第1章は序論であり、金属合金の固液共存体の変形に関する従来の基礎研究、さらに固液共存体の変形による偏析が課題となる鑄造プロセスについて述べ、研究目的と本論文の構成を示している。</p> <p>凝固過程において、固液共存体に力が作用するとせん断変形の局在化により固相率が低下した領域が形成され、その領域が凝固後に偏析となることが指摘されている。しかし、金属合金の固液共存体の変形過程を直接観察することは困難であり、固液共存体の変形や固相率の低下したせん断帯の形成は理解されていなかった。そのため、固液共存体の変形による偏析を再現する物理モデルは確立されておらず、変形に起因した偏析の形成を予測し、これらの欠陥を抑制するプロセスの設計・改善は困難であった。本研究では、X線イメージングを用いて金属合金の固液共存体の変形を実証的に明らかにし、偏析形成を再現する固液共存体の変形モデルを構築することを目的としている。</p> <p>第2章では、放射光の特長を生かしたX線イメージング技術を開発し、モデル合金である Al-Cu 合金の固液共存体の変形を時間分解・その場観察した結果について報告している。固液共存体にアルミナ板を挿入する変形では、せん断ひずみが局在化した領域と固相率が低下する領域、つまり、偏析が形成する領域が一致していることを明らかにしている。固相粒子スケールの詳細な解析により、液相で分断された固相粒子の移動・回転といった再配列が変形を担い、固相粒子の間隔の拡大によって見かけ粘度の低下が起こり、その結果として変形が局在化することを明確に示している。さらに、固液共存体にせん断力が作用したとき、せん断面に対して法線方向に応力が発生し、固相粒子のみかけ体積が増加することが偏析形成に寄与していることを明らかにしている。</p> <p>第3章では、固液共存体の変形の時間分解・その場観察に基づいて、物理モデルの構築とその妥当性の検証を行っている。固相と液相の運動量保存則、質量保存則から構成された基礎式では、圧力は固相と液相に共通して作用し、固相と液相間の力学的作用は速度差に比例する粘性抵抗としている。固相粒子間に作用する力は、固相粒子の再配列を抽象化し、不変量である八面体せん断ひずみ速度に比例する等方的な応力と定義している。この等方的な応力の評価に必要なスティフネスについて、材料組織スケールでの考察により固相率の依存性を明らかにしている。</p> <p>構築した基礎式を用いて、固相率の変動に対する安定性解析を実施し、等方的な応力を決めるスティフネスが固相率の増加にともない低下する領域において、固液共存体が単純せん断に対して不安定になることを明らかにし、せん断に対する不安定性を</p>			

京都大学	博士（工学）	氏名	森田 周吾
<p>基礎式に導入することに成功している。</p> <p>第4章では、安定で、かつ、効率的な数値解析を実現する基礎式の数値計算手法を検討している。固液共存体のみかけ粘度および等方的な応力を決定するスティフネスは、固相率に対して非線型な変化をするため、陽的な解法では安定した基礎式を用いた時間発展が計算できない。そこで、半陰的に取り扱う方法を試行し、安定した解析ができる数値計算手法を導いている。さらに、単純せん断に対して固液共存体が不安定になり、変形の局在化と固相率の低下による偏析が数値計算においても形成することを確認し、構築した物理モデルについて安定で効率的な数値計算手法を開発している。</p> <p>第5章では、Al-Cu合金の変形を模擬した矩形試料の変形を数値計算し、観察結果との比較によりモデルの妥当性を検証している。数値計算では、観察されたせん断変形の局在化と固相率の低下を再現できることを示している。さらに、等方的な応力を決定するスティフネスの大きさが、せん断変形の局在化や不均一変形の発達に大きく影響することも明らかにしている。スティフネスの大きさは凝固組織に依存するので、材料組織とスティフネスの関係を理解するための重要な知見となる。</p> <p>第6章では、遠心铸造プロセスを模した計算モデルを考案し、铸造プロセスへの適用を行っている。遠心铸造プロセスで生じる同心円状の偏析帯の形成が、鋳型回転による重力方向の相対的な変化により生じる対流に起因する可能性を示している。さらに、鋳型の回転速度が増加するにともない偏析帯の形成は抑制されることも明らかにしている。実プロセスにおける組織制御の指針となる成果を示している。</p> <p>第7章は総括であり、本論文で得られた成果について要約している。</p>			

## (論文審査の結果の要旨)

本論文は、金属合金の鋳造プロセスにおいて偏析の形成原因の一つとして指摘されている固液共存体の変形について、その場観察による変形機構およびその機構に基づいた物理モデルについて研究した成果をまとめたものであり、得られた主な成果は次の通りである。

1. Al-Cu 合金の固液共存体の変形を時間分解・その場 X 線イメージングにより観察し、固液共存体の変形では液相により分断された固相粒子の再配列が変形を担い、その再配列が変形の局在化と固相率の低下を起こすことを明らかにしている。これらの成果はモデルの構築においてきわめて有用な知見である。
2. 観察により明らかになった固相粒子の再配列を抽象化し、二流体モデルに導入した基礎式を提案している。安定性解析により、構築したモデルは変形の局在化による偏析形成を再現できる。従来にない偏析形成の物理モデルの構築に成功している。
3. 基礎式の数値解法を検討した上で、固液共存体の変形において変形の局在化と偏析の形成を数値計算により再現できることを示している。さらに、偏析形成に影響する物性やパラメータについても検討しており、偏析形成のシミュレーションにつながる成果である。
4. 工業的に利用されている遠心鋳造プロセスにおける同心円状の偏析帯の形成機構を明らかにするため、単純化したモデルを考案して数値計算を行っている。鋳型の回転にともなう重力方向の変化により生じる、振動に類似した対流が偏析を形成する可能性があることを明らかにした。偏析低減のための指針を考える上で有益な知見である。

本論文は、固液共存体の変形機構の解明、物理モデルの構築、さらに変形の局在化・偏析形成の数値計算による再現を系統的に明らかにし、鋳造プロセスの設計・改善において有益な成果を得ている。本論文の内容は学術上、實際上寄与するところが少なくない。よって、本論文は博士（工学）の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 27 年 2 月 20 日、論文内容とそれに関連した事項について試問を行って、申請者が博士後期課程学位取得基準を満たしていることを確認し、合格と認めた。

なお、本論文は、京都大学学位規定第 14 条第 2 項に該当するものと判断し、公表に際しては、当該論文の全文に代えてその内容を要約したものとすることを認める。